

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-256265

(P2001-256265A)

(43) 公開日 平成13年9月21日 (2001.9.21)

(51) Int.Cl.⁷
G 0 6 F 17/50

識別記号

6 8 0

F 1 6 H 55/17

F I

G 0 6 F 17/50

F 1 6 H 55/17

G 0 6 F 15/60

テマコード* (参考)

6 8 0 Z 3 J 0 3 0

Z 5 B 0 4 6

6 1 2 L

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2000-67557 (P2000-67557)

(22) 出願日 平成12年3月10日 (2000.3.10)

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 川島 康成

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

Fターム (参考) 3J030 AC02 BA01 BB06 BB11

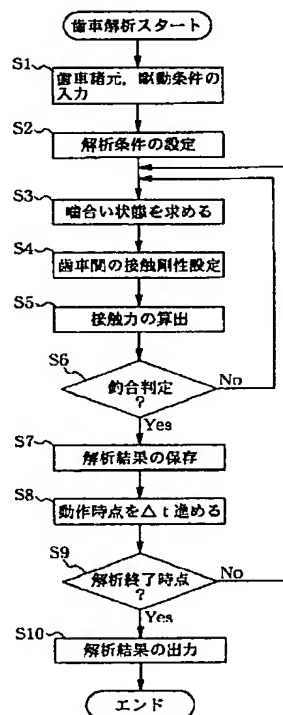
5B046 AA00 JA07

(54) 【発明の名称】 歯車設計支援方法および歯車設計支援装置

(57) 【要約】

【課題】 歯車機構系の動的挙動を事前に把握できるようにして、歯車機構の過大な大型化やコスト高を招かないで済むようにした歯車設計支援方法を提供する。

【解決手段】 駆動軸と被駆動軸間に設置された歯車伝達機構系をモデル化し、駆動軸の動作に対する被駆動軸の動的挙動を解析し算出する歯車設計支援方法において、前記歯車の持つ基本諸元の諸元情報および駆動条件情報を与え (S1)、その諸元情報と駆動条件情報を用いて歯車の歯の噛み合い状態を求め (S3)、その噛み合い状態の変化に対応付けて歯車間の接触剛性値を時系列的に設定し (S4)、その接触剛性値に基づいて時系列的に運動方程式を解くことにより被駆動軸の動的挙動を算出し (S5~S9)、算出した駆動軸と被駆動軸の動作解析結果を出力する (S10)。



(2)

【特許請求の範囲】

1
 【請求項1】 駆動軸と被駆動軸間に設置された歯車伝達機構系をモデル化し、駆動軸の動作に対する被駆動軸の動的挙動を解析し算出する歯車設計支援方法において、前記歯車の持つ基本諸元の諸元情報および駆動条件情報を与え、その諸元情報と駆動条件情報を用いて歯車の歯の噛み合い状態を求め、その噛み合い状態の変化に対応付けて歯車間の接触剛性値を時系列的に設定し、その接触剛性値に基づいて時系列的に運動方程式を解くことにより算出した駆動軸と被駆動軸の動作解析結果を出力することを特徴とする歯車設計支援方法。

【請求項2】 請求項1記載の歯車設計支援方法において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯先修正形状データを含み、その歯先修正形状データを用いて歯車間の接触剛性値を補正することを特徴とする歯車設計支援方法。

【請求項3】 請求項1記載の歯車設計支援方法において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯すじ修正形状データを含み、その歯すじ修正形状データを用いて歯車間の接触剛性値を補正することを特徴とする歯車設計支援方法。

【請求項4】 請求項1記載の歯車設計支援方法において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯形のピッチ間誤差データを含み、そのピッチ間誤差データを用いて歯車間の接触剛性値を補正することを特徴とする歯車設計支援方法。

【請求項5】 請求項1記載の歯車設計支援方法において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯車の組立て誤差データを含み、その組立て誤差データを用いて歯車間の接触剛性値を補正することを特徴とする歯車設計支援方法。

【請求項6】 請求項1記載の歯車設計支援方法において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に動作環境温度と温度に依存するヤング率データとを含み、その動作環境温度とヤング率データを用いて歯車間の接触剛性値を補正することを特徴とする歯車設計支援方法。

【請求項7】 請求項1記載の歯車設計支援方法において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯車と連結する軸の剛性値を含み、その剛性値を加えて歯車間の接触剛性値を補正することを特徴とする歯車設計支援方法。

【請求項8】 請求項1記載の歯車設計支援方法において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯車を支持する軸受の剛性値を含み、そのデータを加えて歯車間の接触剛性値を補正することを特徴とする歯車設計支援方法。

【請求項9】 請求項1記載の歯車設計支援方法において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯車を支持するフレームケースの剛性値を含み、その剛性値を加えて歯車間の接触剛性値を補正することを特徴とする歯車設計支援方法。

【請求項10】 駆動軸と被駆動軸間に設置された歯車

2
 伝達機構系をモデル化し駆動軸の動作に対する被駆動軸の動的挙動を解析し算出する歯車設計支援装置において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報および駆動条件情報を与える入力手段と、歯車の歯の噛み合い状態を求める噛み合い状態算出手段と、その噛み合い状態算出手段により求められた噛み合い状態に合わせて歯車間の接触剛性値を時系列的に設定する剛性設定手段と、その剛性設定手段により設定された接触剛性値を用いて時系列的に運動方程式を解く計算手段と、その計算手段が運動方程式を解くことにより求められた駆動軸と被駆動軸の動作解析結果を出力する出力手段とを備えたことを特徴とする歯車設計支援装置。

【発明の詳細な説明】

◎【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、歯車機構系を設計する際に使用する解析方法および解析装置に係わり、特に、歯車の持つ基本諸元と駆動条件を与えることにより、実稼動に近い状態での歯車機構系の伝達特性を推定し、歯車機構系に関する問題がないかどうかを事前に確認できる歯車設計支援方法および歯車設計支援装置に関する。

【0002】

【従来の技術】1対の相噛合う歯車から成る歯車セットの噛み合い状態を解析する従来技術としては、例えば特開平3-100434号公報に示された技術がある。この従来技術では、歯車セットの一方の歯車の歯面に塗料を塗布した後、歯車セットを噛み合わせた状態で回転させ、次に、歯車の歯面の塗料の剥離状態を撮像して画像処理することにより歯車セットの噛み合い状態を解析する。また、歯車を機械加工するときの切削刃に関する諸データに基づいて負荷時の噛み合い状態を解析してその歯当りデータを出力する負荷時歯当り解析システムが米国のグリーンソン社により実用化され、広く実用に供されている。さらに、歯車機構の解析技術として、特開平6-109593号公報に開示された技術がある。この従来技術では、ピニオンとギヤからなる歯車セットの諸元データの他に、歯車セットの各々の加工後に3次元測定装置によって測定したピニオンとギヤの歯面データを3次元CAD装置に入力し、歯車セットの前記諸元データと前記歯面データとに基づいて、同一座標系におけるピニオンの部分モデルと、これに噛み合った状態のギヤの部分モデルとを形成し、3次元CAD装置上でシミュレーションして噛み合い情報を得る。また、特開平9-016643号公報に示された従来技術では、歯車形状をビジュアル化し、その噛み合い状態を視覚的に確認する。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記のグリーンソン社により実用化された従来技術や特開平6-109593号公報に開示された従来技術は歯車の噛み合いを解析する方法としては有効であるが、歯車を動的に動作さ

(3)

3

せた場合の挙動は解析しきれないという問題がある。歯車は剛体でなく、負荷荷重などで変形する弾性体であり、また、形状誤差も含んでいる。これらの要素と稼動条件によってその動的挙動は様々に変化する。この挙動、つまり時々刻々と変化する速度などが正確に予測できない場合、設計者はできるだけ安全な方向（歯車の精度をできるだけあげるとか、材質を硬いもの（＝重いもの）にするとか、歯車を大きいものにするとか）で設計を進めることになり、その結果として、歯車機構のサイズの大型化やコスト高を招いていた。本発明の目的は、このような従来技術の問題を解決し、歯車機構系の動的挙動を事前に把握できるようにして、歯車機構の過大な大型化やコスト高を招かないで済むようにした歯車設計支援方法を提供することにある。

【0004】

【課題を解決するための手段】前記の課題を解決するために、請求項1記載の発明では、駆動軸と被駆動軸間に設置された歯車伝達機構系をモデル化し、駆動軸の動作に対する被駆動軸の動的挙動を解析し算出する歯車設計支援方法において、前記歯車の持つ基本諸元の諸元情報および駆動条件情報を与え、その諸元情報と駆動条件情報を用いて歯車の歯の噛合い状態を求め、その噛み合い状態の変化に対応付けて歯車間の接触剛性値を時系列的に設定し、その接触剛性値に基づいて時系列的に運動方程式を解くことにより算出した駆動軸と被駆動軸の動作解析結果を出力する方法にした。また、請求項2記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯先修正形状データを含み、その歯先修正形状データを用いて歯車間の接触剛性値を補正する方法にした。また、請求項3記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯すじ修正形状データを含み、その歯すじ修正形状データを用いて歯車間の接触剛性値を補正する方法にした。また、請求項4記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯形のピッチ間誤差データを含み、そのピッチ間誤差データを用いて歯車間の接触剛性値を補正する方法にした。また、請求項5記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯車の組立て誤差データを含み、その組立て誤差データを用いて歯車間の接触剛性値を補正する方法にした。また、請求項6記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に動作環境温度と温度に依存するヤング率データとを含み、その動作環境温度とヤング率データを用いて歯車間の接触剛性値を補正する方法にした。

【0005】また、請求項7記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯車と連結する軸の剛性値を含み、その剛性値を加えて歯車間の接触剛性値を補正する方法にした。また、請

4

求項8記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯車を支持する軸受の剛性値を含み、そのデータを加えて歯車間の接触剛性値を補正する方法にした。また、請求項9記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯車を支持するフレームケースの剛性値を含み、その剛性値を加えて歯車間の接触剛性値を補正する方法にした。また、請求項10記載の発明では、駆動軸と被駆動軸間に設置された歯車伝達機構系をモデル化し駆動軸の動作に対する被駆動軸の動的挙動を解析し算出する歯車設計支援装置において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報および駆動条件情報を与える入力手段と、歯車の歯の噛合い状態を求める噛合い状態算出手段と、その噛合い状態算出手段により求められた噛合い状態に合わせて歯車間の接触剛性値を時系列的に設定する剛性設定手段と、その剛性設定手段により設定された接触剛性値を用いて時系列的に運動方程式を解く計算手段と、その計算手段が運動方程式を解くことにより求められた駆動軸と被駆動軸の動作解析結果を出力する出力手段とを備えた。

【0006】

【作用】前記のような手段を採用したので、請求項1および請求項10記載の発明では、歯車の持つ基本諸元の諸元情報および駆動条件情報が与えられ、その諸元情報と駆動条件情報を用いて歯車の歯の噛合い状態が求められ、その噛み合い状態の変化に対応付けて歯車間の接触剛性値が時系列的に設定され、その接触剛性値に基づいて時系列的に運動方程式が解かれ、それにより算出された駆動軸と被駆動軸の動作解析結果が出力される。請求項2記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯先修正形状データが与えられ、その歯先修正形状データを用いて歯車間の接触剛性値が補正される。請求項3記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯すじ修正形状データが与えられ、その歯すじ修正形状データを用いて歯車間の接触剛性値が補正される。請求項4記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯形のピッチ間誤差データが与えられ、そのピッチ間誤差データを用いて歯車間の接触剛性値が補正される。請求項5記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯車の組立て誤差データが与えられ、その組立て誤差データを用いて歯車間の接触剛性値が補正される。請求項6記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして動作環境温度と温度に依存するヤング率データとが与えられ、その動作環境温度とヤング率データを用いて歯車間の接触剛性値が補正される。請求項7記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つ

5

として歯車と連結する軸の剛性値が与えられ、その剛性値を加えて歯車間の接触剛性値が補正される。請求項8記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯車を支持する軸受の剛性値が与えられ、そのデータを加えて歯車間の接触剛性値が補正される。請求項9記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯車を支持するフレームケースの剛性値が与えられ、その剛性値を加えて歯車間の接触剛性値が補正される。

【0007】

【発明の実施の形態】以下、図面により本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1は本発明の実施の形態を示す歯車設計支援装置の機能ブロック図である。図示したように、この実施の形態の歯車設計支援装置は、解析プログラムなどプログラムおよび各種データを一時的に記憶しておくRAMやそのプログラムに従って動作するCPUを有して総合的な制御を行う制御部1、解析結果などを表示する表示装置としてのCRT2、そのCRT2を用いてデータを入力したり指示を与えたりするキーボード3およびマウス4、まとまったデータを入出力するフロッピー（登録商標）ディスク装置（FDD）

5、解析結果などを出力するプリンタ6、CPUの基本制御を行うOS（オペレーティングシステム）および解析プログラムなどを記憶しておく磁気ディスク装置（HDD）7などを備えている。なお、請求項10記載の入力手段はキーボード3およびマウス4により実現され、噛合い状態算出手段、剛性設定手段、および計算手段は制御部1により実現され、出力手段はCRT2およびプリンタ6により実現される。このような構成で、本発明の実施の形態では、解析プログラムを実行させることにより歯車機構系の動的特性を求め、その情報をCRT2や紙に出力して設計者に提供しようというわけである。図2に本発明の第1の実施の形態の動作フローを示す。以下、図2などに従って、この実施の形態の動作を説明する。図2に示すように、まず、対象となる歯車の基本諸元情報とその駆動条件情報をキーボード3などにより入力する（S1）。なお、基本諸元情報とは、歯車の歯数、モジュール、圧力角、歯幅、材質、慣性モーメント、軸間距離などの情報である。また、駆動条件情報とは、例えば駆動歯車の初期角度（相手側と接触を始める位置の向き）情報と駆動トルク情報である。これらの情報を与えた後、解析条件として、歯車機構の解析対象動作期間、解析ステップ（解析時間間隔）、解析許容誤差を設定する（S2）。歯車機構は駆動側の歯と従動側の歯を噛合わせて動力を伝達しており、この歯の噛合いはそれぞれの回転角度に応じて常に変化している。動力伝達に係わる接触力は接触剛性値とたわみ量の積として求められるが、噛合い状態の変化に応じて接触剛性値なども変化する。そのため、次のステップでは、各動作時点

(4)

6

（歯車の回転位置）における噛合い状態を求める（S3）。なお、歯のたわみ量 δ は負荷が加わっていない状態で歯面と歯面が点接触している場合はゼロであり、駆動側の歯車の回転位置を設定すると従動側の歯車位置は幾何計算で求めることができる（静解析：従来技術で可能）。この状態で駆動側の回転中心を固定し、従動側に負荷トルクを加えると、駆動側と従動側の歯が弾性変形して従動側が δ だけ回転する（図3参照）。この変形量（荷重に対するたわみ量 δ ）は歯車間の接触剛性値に係り、また、この歯車間の接触剛性値は噛合している歯の位置つまり前記噛合い状態で異なるし、歯の材質、歯幅、モジュールなど歯車の基本諸元により異なる。

【0008】一歯噛合いの場合で各噛合い位置における接触剛性値を図4に示す。なお、図4において、横軸に示したa、b、cは図4の上方に示した噛合い位置である。つまり、ステップS3では、それぞれの歯がどのような位置で（図4参照）どのように噛合っているかを求めるのである。なお、各噛合い位置での接触剛性値は、歯を梁としてモデル化して数式で解いたり、有限要素法を用いたり、実測したりして求める。次に、求めた噛合い状態を用いてそれぞれの一つの歯対の接触剛性値を加え合わせて、歯車間の接触剛性値を求める（S4）。図5に、噛み合っている歯数が2以下の場合（噛み合い率2以下）の例を示す。図5からわかるように、噛合っている歯数によって接触剛性値が凸凹に変化している。接触剛性値が高い所では2歯が噛合い、低い所では1歯だけが噛み合う。本発明の各実施の形態では、このような接触剛性値を Δt （解析ステップとして指示された値）づつ増加する各動作時点（回転位置）に対応付けた表形式で時系列的に記憶させておくのである。次に、最初の動作時点について、記憶しておいた接触剛性値を取得し、この加え合わせた接触剛性値にたわみ量 δ を乗じた値として接触力を算出する（図6参照）（S5）。さらに、この動作時点（図5の横軸である回転位置であり、解析開始点をスタート時点とする）での接触力を非線形運動方程式（微分方程式、図6参照）に代入してこの方程式を解き、二つの式について左辺と右辺の力の釣り合いを判定する（S6）。つまり、駆動トルクとそれに対応した左辺の値との誤差、および負荷トルクとそれに対応した左辺との誤差がステップS2で与えられた解析許容誤差以内か否かを判定するのである。なお、微分方程式の数値解法としては、オイラー法、ルンゲクッタ法、ニューマーク β 法など様々あるが、ここでは説明を省略する。

【0009】前記において、力が釣り合っていない場合は（S6でNo）、被駆動歯車の角度（向き）を微少に変化させて再度噛合い状態を求めることから繰り返す（S3～S6）。また、力が釣り合っていた場合は（S6でYes）、この動作時点で求めた速度など解析結果

(5)

7

を保存し（S 7）、動作時点を Δt （解析ステップとして指示された値）を進める（S 8）。そして、保存した解析結果が解析対象動作期間の最後の動作時点まで求めたか否かを判断し（S 9）、求まっていない場合は（S 9でNo） Δt 時間後の解析をステップS 3から同じように行う。こうして、解析対象動作期間の最後まで解析結果が求まると（S 9でYes）、いままで蓄積してきた解析結果、例えば各動作時点における速度などをグラフや表としてCRT 2やプリンタ 6に出力する（S 10）。そして、設計者はその出力結果を見て、歯車諸元、駆動トルク、噛合い状態などを変更し、速度などが必要以上に高い噛合い位置の速度を減らしたり、速度などが遅すぎる噛合い位置の速度を増やしたりする。つまり、この実施の形態によれば、歯車機構系の各動作時点（回転位置）における速度など動的挙動を事前に把握できるので、速度変動などを少なくすることができるし、目標の速度などを実現するために歯車機構の過大な大型化やコスト高を招かないで済む。

【0010】図7は本発明の第2の実施の形態を示す動作フロー図である。図示したように、第1の実施の形態の動作フロー（図2参照）に、歯車諸元として与えられた歯先修正形状データを利用した接触剛性補正ステップS 15を加えたものである。なお、歯先修正とは、図8（a）に示すように、例えば歯の先端側を長さL、修正量eで削ることであり、これにより、歯の先端側のエッジでの接触を回避して、凸凹で急激に変化していた接触剛性値を滑らかに改良している。つまり、この実施の形態では、図5に示した接触剛性値に乗じる補正係数である、回転位置によって変化する補正係数を求め、ステップS 15において接触剛性値の補正を行うのである。これにより、歯先修正に対応した解析が可能となる。なお、補正係数は歯の接触点がLの領域より根元側でゼロであり、Lの領域では正規のカーブ（インボリュート曲線）からのずれ量に合わせて接触剛性値を下げるように設定している。図8（b）に補正した接触剛性値を示す。図示のように、この実施の形態によれば、接触剛性値の変化が滑らかになるので、速度変化が滑らかになるという効果があるし、このような歯先の場合においても事前の解析が可能になり、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。図9は本発明の第3の実施の形態を示す動作フロー図である。図示したように、第1の実施の形態の動作フロー（図2参照）に、歯すじ修正形状データを利用した接触剛性補正ステップS 35を加えたものである。なお、歯すじ修正とは、図10に示すように歯の幅方向の形状を変えることを意味している。これにより、組立て誤差などで歯車同士が傾いた場合、歯幅方向のエッジでの歯当たりを防ぐことができる。この歯すじ修正には、歯幅全体に丸みを設けるクラウニングと歯幅のエッジ部に面取りを行うエンドリリーフがある（図10参照）。修正のない場合は歯幅全体で負荷を支

8

えているのに対して、このように修正することで幅方向の面積が減り、負荷の大きさによって歯が変形し接触面積も変化する。この結果、修正のない場合はたわみ量に対して剛性値 K_b は一定であるのに対して、修正した場合はたわみ量によってグラフの傾き（剛性値 K_b' ）が変化する（図11参照）。図11に示したように、歯車が回転角 θ_b で噛合っていた場合、修正なしでは接触剛性値が K_b であるが、修正によってその剛性値（グラフの傾き）はたわみ量によって変化するのである。この変化する分を補正係数で扱い、ステップS 35において補正を行うことにより歯すじ修正に対応した解析が可能となる。こうして、この実施の形態によれば、たわみ量が大きくなったときに接触力を増加させて伝達特性を向上させることができるし、このような歯形の場合においても事前の解析が可能になり、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0011】図12は本発明の第4の実施の形態を示す動作フロー図である。図示したように、第1の実施の形態の動作フロー（図2参照）に、歯形のピッチ間誤差の影響を考慮して接触剛性補正ステップS 55を加えたものである。なお、歯形のピッチ間誤差とは、図13に示すように歯のピッチ間のバラツキであり、これによって回転精度が決まる。例えば正規のピッチに比べ x_p だけ手前にずれていた場合、歯は x_p 分早く噛合う。そこで、正規の接触剛性変化に対して回転角方向に x_p 分ずらす補正を加える（図14参照）。これは駆動側および被駆動側の歯数分の組合わせで変化するので、噛合っている歯毎に算出して補正結果を記憶しておく。こうして、この実施の形態によれば、このような補正により歯形のピッチ間誤差に対応した解析が可能となり、ピッチ間誤差があっても事前の解析が可能になり、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。図15は本発明の第5の実施の形態を示す動作フロー図である。図示したように、第1の実施の形態の動作フロー（図2参照）に、歯車の組立て誤差の影響を考慮して接触剛性補正ステップS 75を加えたものである。図16に示すように組立て誤差のない場合、歯車は歯すじ（歯幅）方向に関して一様である（歯すじ修正のない平歯車の場合）。そのため、歯面の接触領域は回転軸と平行な線（領域）となる。一方、組立て誤差があり、軸が傾いていた場合、歯面の接触領域は歯すじ方向に様でなく軸間の狭い方に集中し（片当たり）、歯全体の接触剛性は低下する（図16参照）。そこで、この傾き量に応じて正規の接触剛性値を補正することにより、組立て誤差に対応した解析を可能とする。こうして、この実施の形態によれば、歯車の組立て誤差があっても事前の解析が可能になり、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0012】図17は本発明の第6の実施の形態を示す動作フロー図である。この実施の形態では歯車の持つ基

9

本諸元の諸元情報中に動作環境温度と温度に依存するヤング率データとを加え、図17に示したように、第1の実施の形態の動作フロー(図2参照)に、動作環境温度に応じた接触剛性値補正ステップS95を加えたものである。図18に示すように、金属に比べ温度変化に弱い樹脂で歯車を構成した場合、その動作環境温度でヤング率(剛性値)が大きく変化する。そこで、動作環境温度なども入力し(S91)、この温度の値と温度に依存するヤング率から歯車の接触剛性値を補正することにより(図19参照)、温度変化に対する影響の大きい材質に対応した解析が可能となる。こうして、この実施の形態によれば、温度変化に対する影響の大きい材料で歯車を構成しても事前の解析が可能になり、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。図20は本発明の第7の実施の形態を示す説明図である。この実施の形態では歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯車と連結する軸の剛性値を含み、その剛性値を加えて歯車間の接触剛性値を補正する。図20はモータと負荷の間にある歯車の接触剛性をモデル化したものである。軸の剛性が歯車と比較して大きい場合は軸のばねモデルを外して解析してもその影響は小さいが、軸の剛性が低くなった場合、この影響が大きくなるので、歯車の接触剛性値に補正を加えるのである。例えば、軸単体で歯車の取付く位置に負荷をかけた場合のたわみ量を求め、この関係から軸剛性を算出し、歯車接触剛性のバネモデルと軸のバネモデルを直列で連結することで補正するのである。これにより、この実施の形態によれば、軸の剛性が低くなった場合でも事前の解析が可能になり、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。図21は本発明の第8の実施の形態を示す説明図である。この実施の形態では、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯車を支持する軸受の剛性値を加え、その剛性値を加えて歯車間の接触剛性値を補正する。図21はモータと負荷の間にある歯車の接触剛性をモデル化したもので、軸受のラジアル剛性が歯車と比較して大きい場合は軸受のばねモデルを外して解析してもその影響は小さいが、軸受のラジアル剛性が低くなった場合、この影響が大きくなるので、この実施の形態では歯車の接触剛性に補正を加えている。例えば、軸受単体でラジアル方向に負荷をかけた場合のたわみ量を求め、この関係から軸受ラジアル剛性を算出し、歯車接触剛性のバネモデルと軸受のバネモデルを直列で連結したモデルを用いて補正するのである。これにより、この実施の形態によれば、軸受のラジアル剛性が低くなった場合でも事前の解析が可能になり、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0013】図22は本発明の第9の実施の形態を示す説明図である。この実施の形態では、歯車の持つ基本諸元の諸元情報中に歯車を支持するフレームケースの剛性値を加え、その剛性値を加えて歯車間の接触剛性値を補正する。図22はモータと負荷の間にある歯車の接触剛

(6)

10

性をモデル化したものである。フレームケースの剛性が歯車と比較して大きい場合はフレームケースのばねモデルを外して解析してもその影響は小さいが、フレームケースの剛性が低くなった場合はこの影響が大きくなるので、歯車の接触剛性に補正を加えるのである。例えば、フレームケース単体で歯車の接触力が働く方向に負荷をかけ、そのときのたわみ量を求め、この関係からフレームケースでの剛性を算出し、歯車接触剛性のバネモデルとフレームケースのバネモデルを直列で連結することで補正するのである。これにより、この実施の形態によれば、フレームケースの剛性が低くなった場合でも事前の解析が可能になり、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0014】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば以下のような効果が得られる。請求項1および請求項10記載の発明では、歯車の持つ基本諸元の諸元情報および駆動条件情報が与えられ、その諸元情報と駆動条件情報を用いて歯車の歯の噛合い状態が求められ、その噛み合い状態の変化に対応付けて歯車間の接触剛性値が時系列的に設定され、その接触剛性値に基づいて時系列的に運動方程式が解かれ、それにより算出された駆動軸と被駆動軸の動作解析結果が出力されるので、歯車機構系の動的挙動を事前に把握でき、したがって、動的挙動を反映させた設計が可能となり、歯車機構の過大な大型化やコスト高を招かないで済む。また、請求項2記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯先修正形状データが与えられ、その歯先修正形状データを用いて歯車間の接触剛性値が補正されるので、接触剛性値の変化が滑らかになり、そのため、速度変化が滑らかになるという効果があるし、このような歯先の場合においても事前の解析が可能になり、請求項1記載の発明と同様の効果を得ることができる。また、請求項3記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯すじ修正形状データが与えられ、その歯すじ修正形状データを用いて歯車間の接触剛性値が補正されるので、たわみ量が大きくなったときに接触力を増加させて伝達特性を向上させることができるし、このような歯形の場合においても事前の解析が可能になり、請求項1記載の発明と同様の効果を得ることができる。また、請求項4記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯形のピッチ間誤差データが与えられ、そのピッチ間誤差データを用いて歯車間の接触剛性値が補正されるので、ピッチ間誤差があっても事前の解析が可能になり、請求項1記載の発明と同様の効果を得ることができる。

【0015】また、請求項5記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯車の組立て誤差データが与えられ、その組

(7)

11

立て誤差データを用いて歯車間の接触剛性値が補正されるので、歯車の組立て誤差があっても事前の解析が可能になり、請求項1記載の発明と同様の効果を得ることができる。また、請求項6記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして動作環境温度と温度に依存するヤング率データとが与えられ、その動作環境温度とヤング率データを用いて歯車間の接触剛性値が補正されるので、温度変化に対する影響の大きい材料で歯車を構成しても事前の解析が可能になり、請求項1記載の発明と同様の効果を得ることができる。また、請求項7記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯車と連結する軸の剛性値が与えられ、その剛性値を加えて歯車間の接触剛性値が補正されるので、軸の剛性が低くなった場合でも事前の解析が可能になり、請求項1記載の発明と同様の効果を得ることができる。また、請求項8記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯車を支持する軸受の剛性値が与えられ、そのデータを加えて歯車間の接触剛性値が補正されるので、軸受のラジアル剛性が低くなった場合でも事前の解析が可能になり、請求項1記載の発明と同様の効果を得ることができる。また、請求項9記載の発明では、請求項1記載の発明において、歯車の持つ基本諸元の諸元情報の一つとして歯車を支持するフレームケースの剛性値が与えられ、その剛性値を加えて歯車間の接触剛性値が補正されるので、フレームケースの剛性が低くなった場合でも事前の解析が可能になり、請求項1記載の発明と同様の効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の各実施の形態の歯車設計支援装置を示す構成ブロック図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態を示す歯車設計支援方法の動作フロー図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態を示す歯車設計支援方法の説明図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態を示す歯車設計支援方法の他の説明図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態を示す歯車設計支援方法の他の説明図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態を示す歯車設計支援

12

方法の他の説明図である。

【図7】本発明の第2の実施の形態を示す歯車設計支援方法の動作フロー図である。

【図8】本発明の第2の実施の形態を示す歯車設計支援方法の説明図である。

【図9】本発明の第3の実施の形態を示す歯車設計支援方法の動作フロー図である。

【図10】本発明の第3の実施の形態を示す歯車設計支援方法の説明図である。

10 【図11】本発明の第3の実施の形態を示す歯車設計支援方法の他の説明図である。

【図12】本発明の第4の実施の形態を示す歯車設計支援方法の動作フロー図である。

【図13】本発明の第4の実施の形態を示す歯車設計支援方法の説明図である。

【図14】本発明の第4の実施の形態を示す歯車設計支援方法の他の説明図である。

【図15】本発明の第5の実施の形態を示す歯車設計支援方法の動作フロー図である。

20 【図16】本発明の第5の実施の形態を示す歯車設計支援方法の説明図である。

【図17】本発明の第6の実施の形態を示す歯車設計支援方法の動作フロー図である。

【図18】本発明の第6の実施の形態を示す歯車設計支援方法の説明図である。

【図19】本発明の第6の実施の形態を示す歯車設計支援方法の他の説明図である。

【図20】本発明の第7の実施の形態を示す歯車設計支援方法の説明図である。

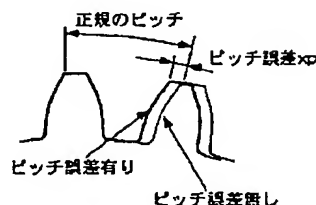
30 【図21】本発明の第8の実施の形態を示す歯車設計支援方法の説明図である。

【図22】本発明の第9の実施の形態を示す歯車設計支援方法の説明図である。

【符号の説明】

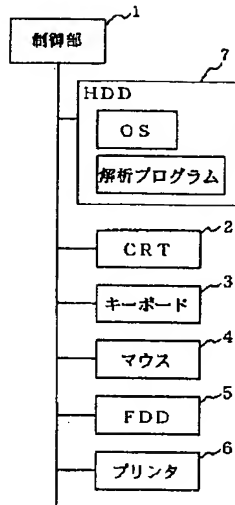
- 1 制御部
- 2 C R T
- 3 キーボード
- 4 マウス
- 5 フロッピーディスク装置
- 40 6 プリンタ
- 7 磁気ディスク装置

【図13】

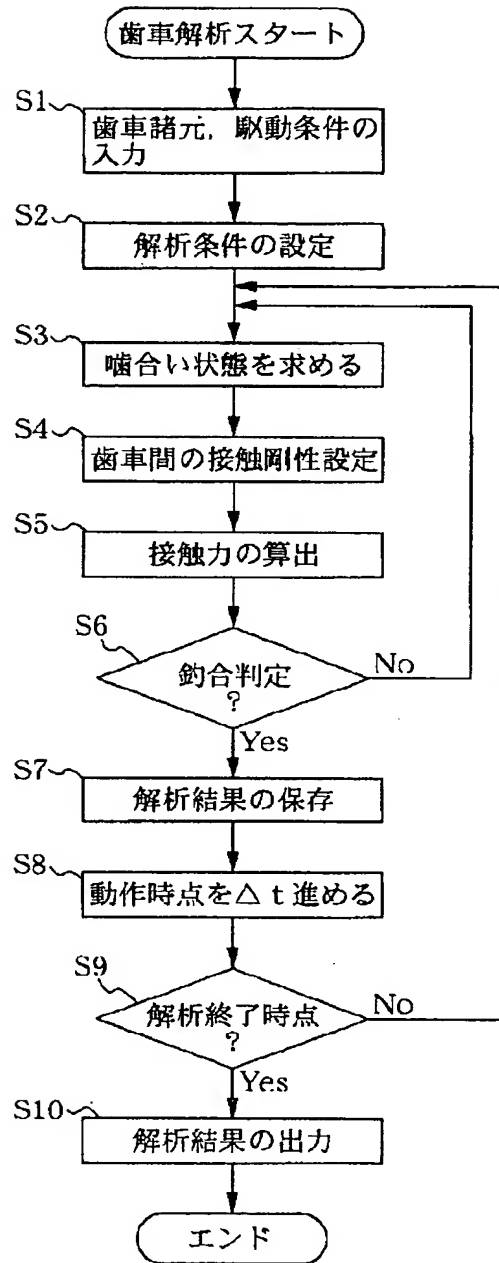


(8)

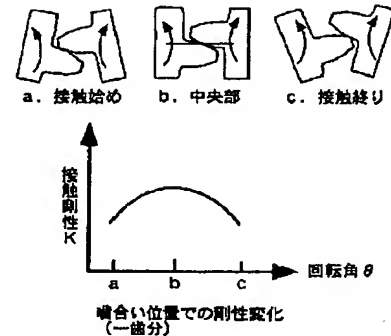
【図 1】



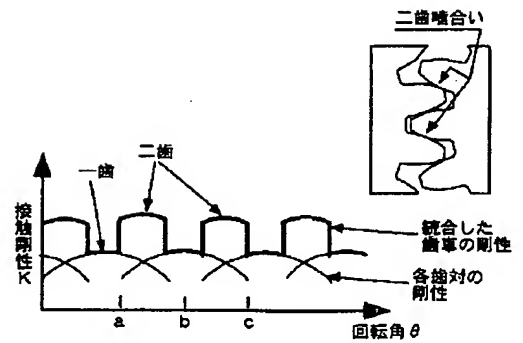
【図 2】



【図 4】

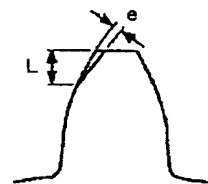


【図 5】

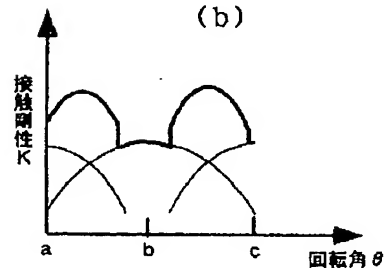


【図 8】

(a)



(b)



【図 6】

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + r_{g1} F = T_1$$

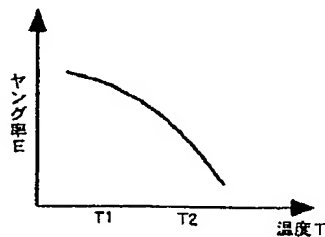
$$J_2 \ddot{\theta}_2 - r_{g2} F = -T_2$$

となる。ただし、 J は歯車の慣性モーメント、 θ は回転角、 r_g は基礎円半径、 F は接触力、 T は駆動トルクや負荷トルク、添字で1は駆動側2は被駆動側とする。

$$F = K \delta$$

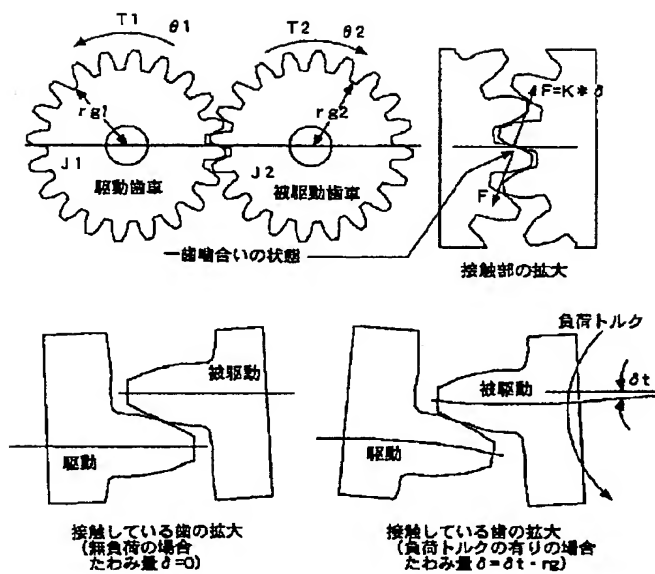
$$\delta = \theta_1 - \theta_2$$

【図 18】

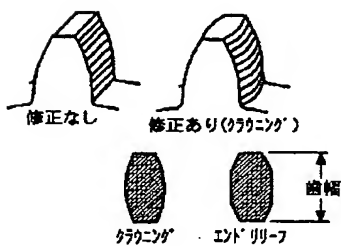


(9)

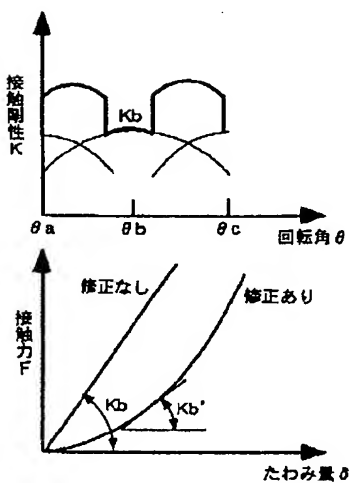
【図 3】



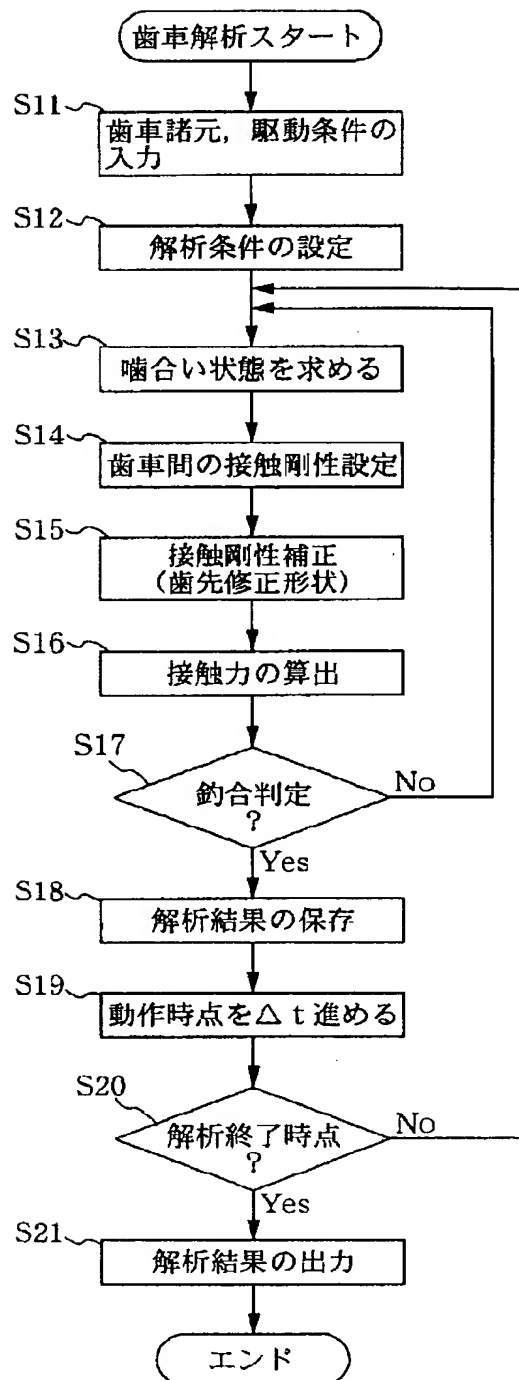
【図 10】



【図 11】

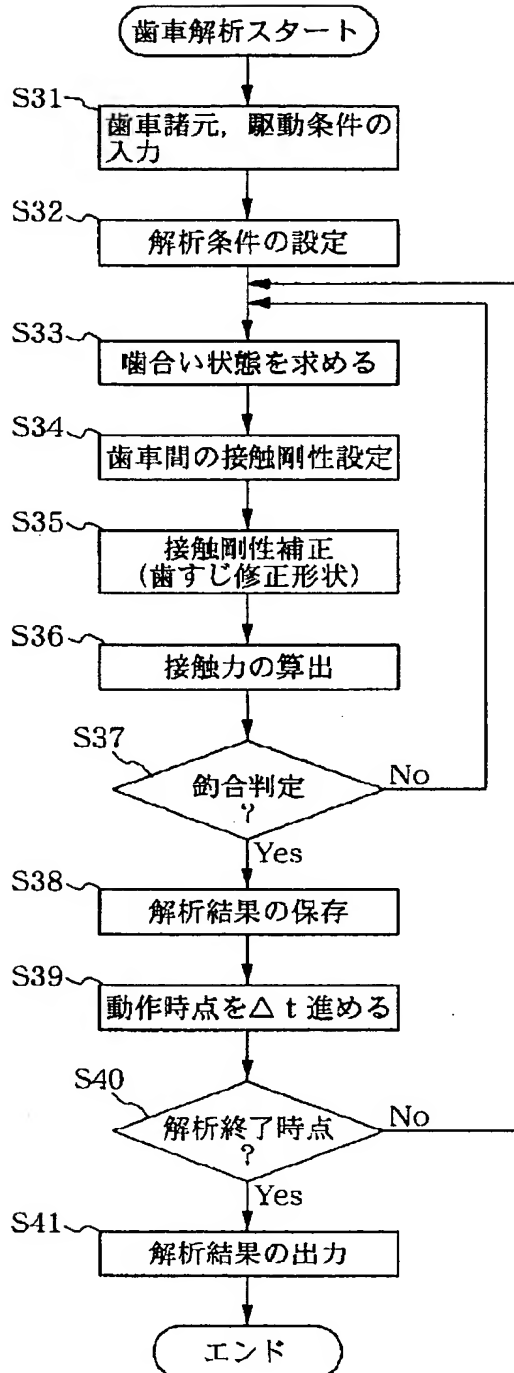


【図 7】

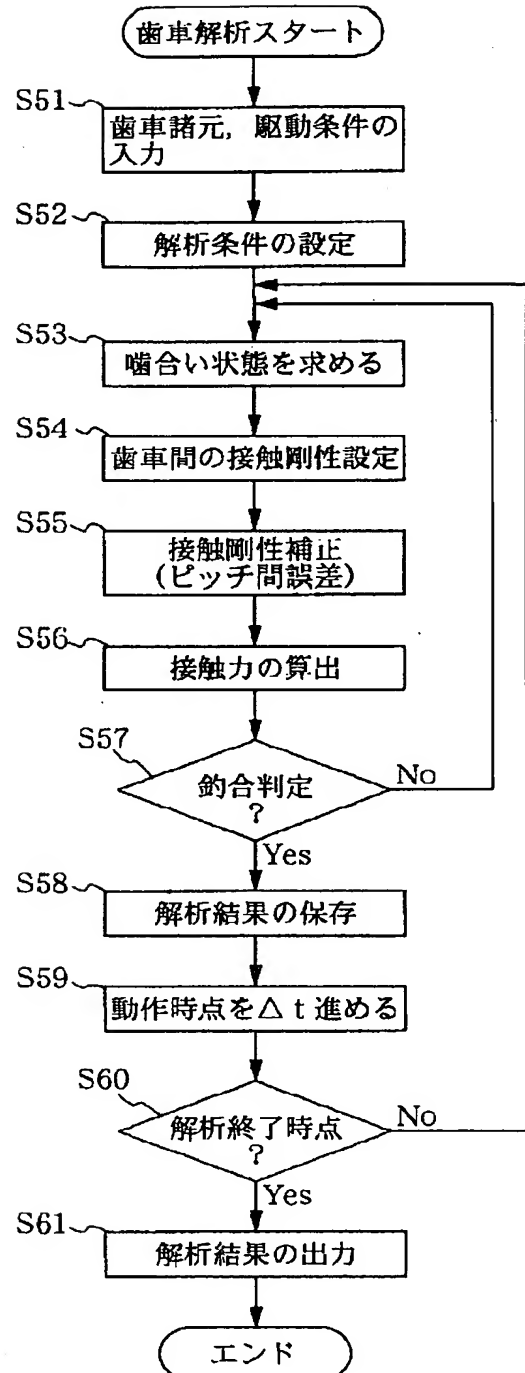


(10)

【図9】

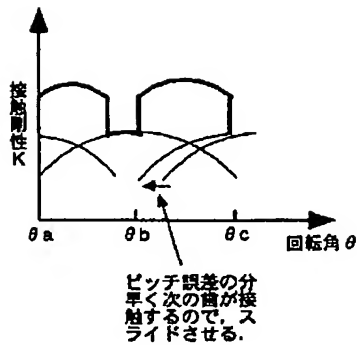


【図12】

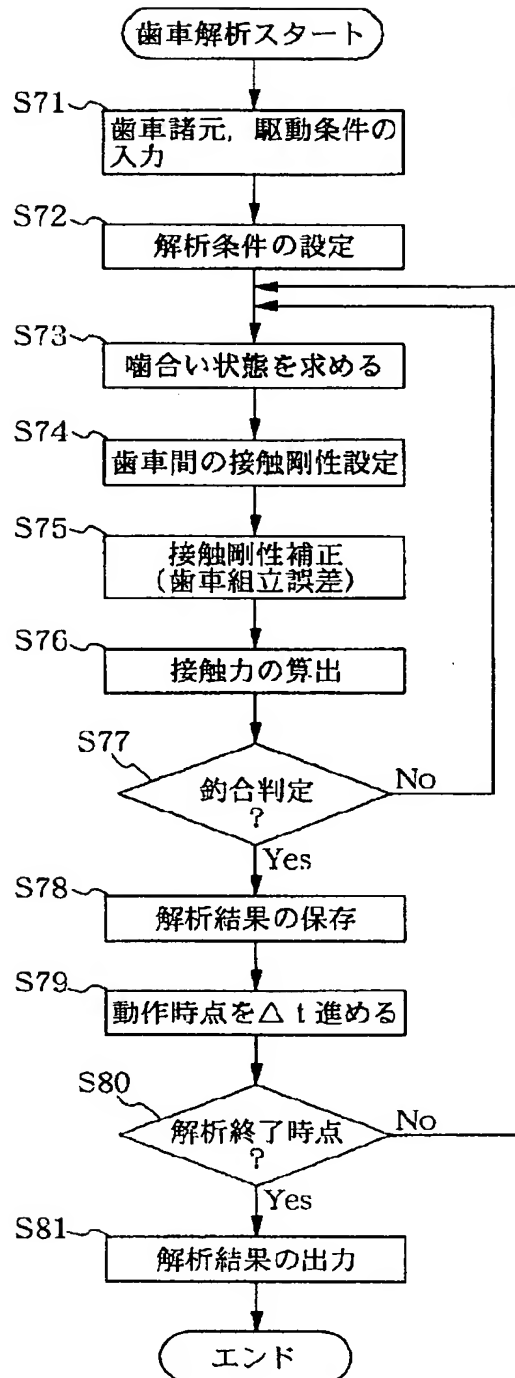


(11)

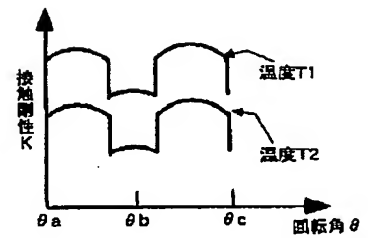
【図14】



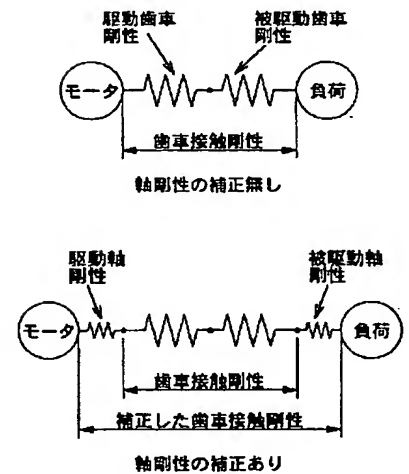
【図15】



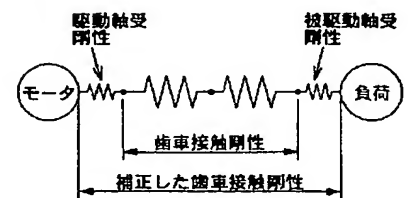
【図19】



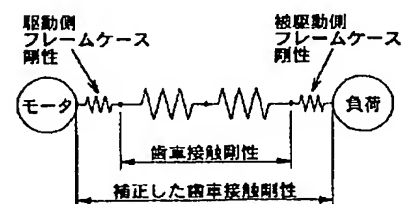
【図20】



【図21】

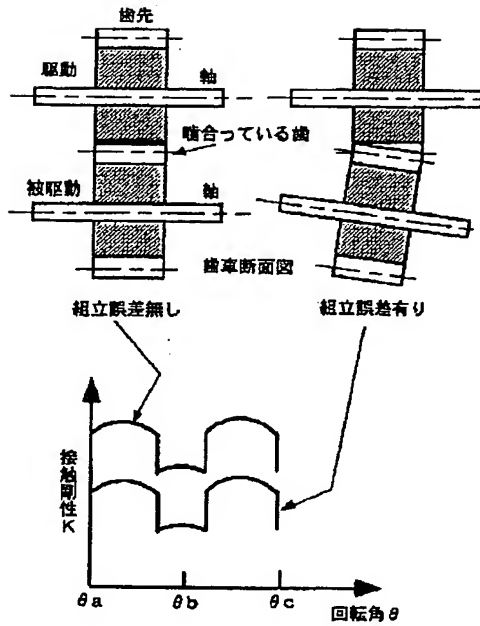


【図22】



(12)

【図 16】



【図 17】

